



Introducción a la Astrofísica 2025
El zoológico astronómico: ¿Qué hay allá afuera?

Clase 14: Cosmología II

Expansión del Universo

Departamento de Física USACH

Principio Cosmológico: la idea de que el lugar que ocupamos en el Universo no es para nada especial.

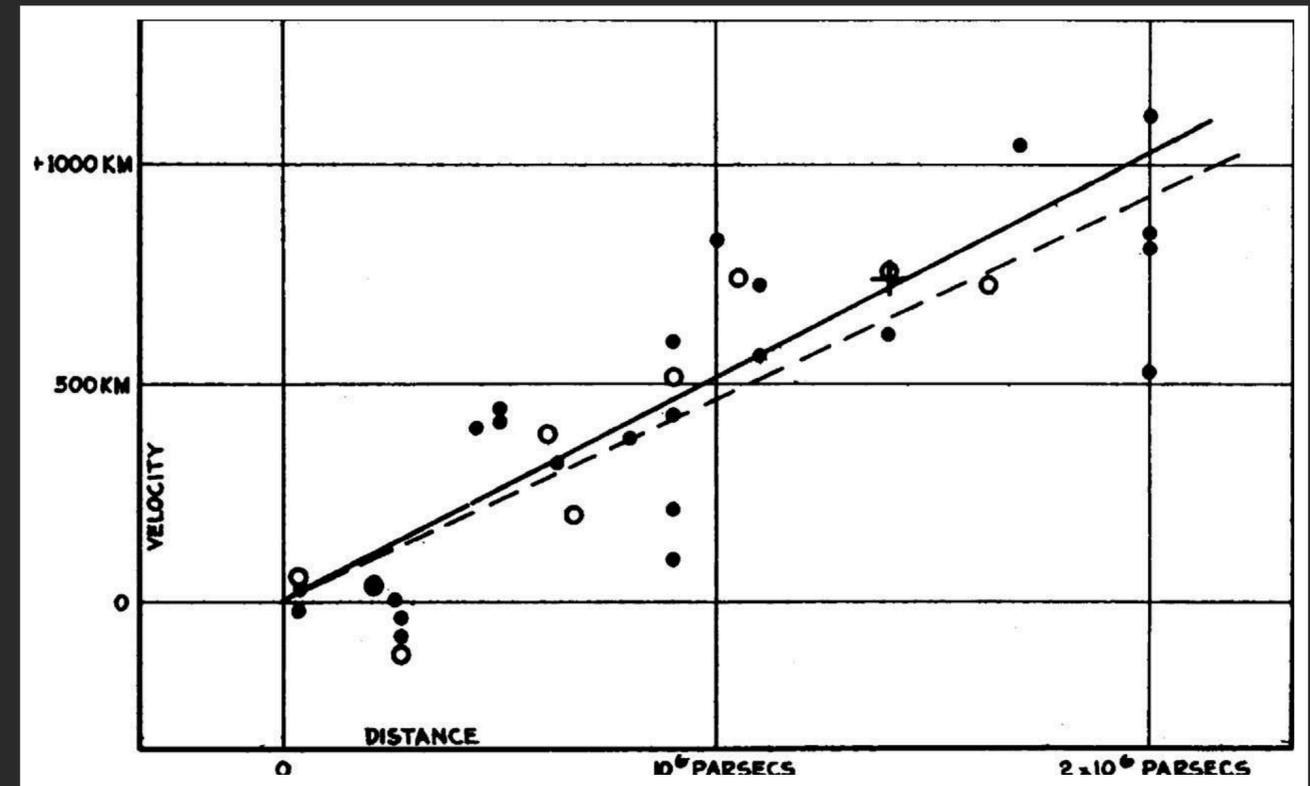
El Universo es homogéneo e isotrópico (👁️ no hay que tomarlo literal...)

El Universo es un sistema que podemos estudiar con ecuaciones...

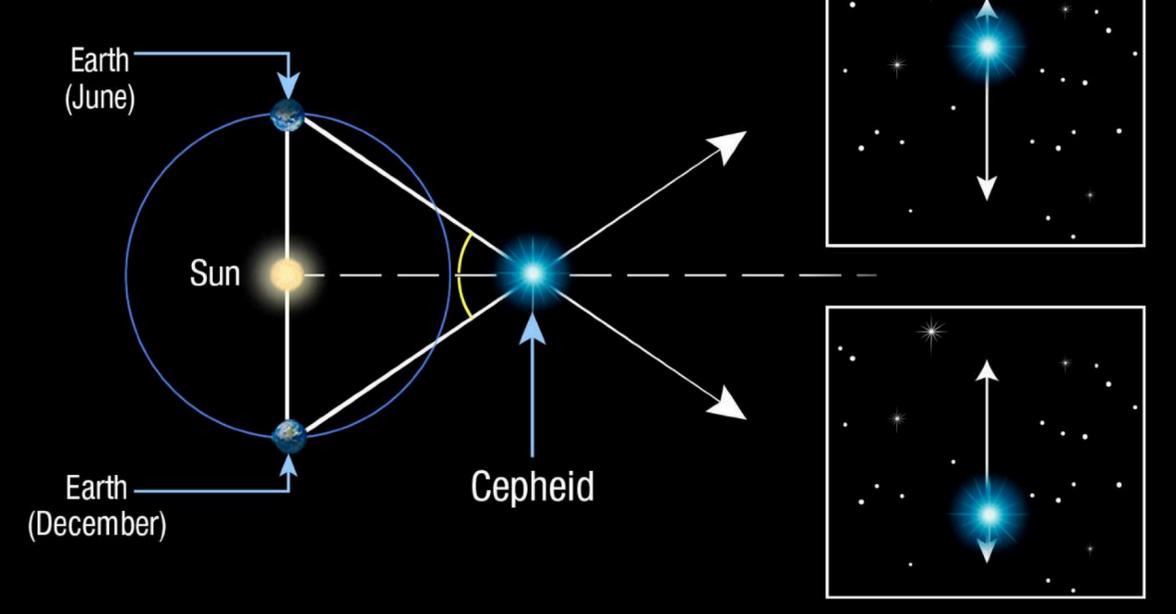
Hubble (1929)

$$v = \left[\frac{\dot{a}(t)}{a(t)} \right] r \quad H(t) = \left[\frac{\dot{a}(t)}{a(t)} \right]$$

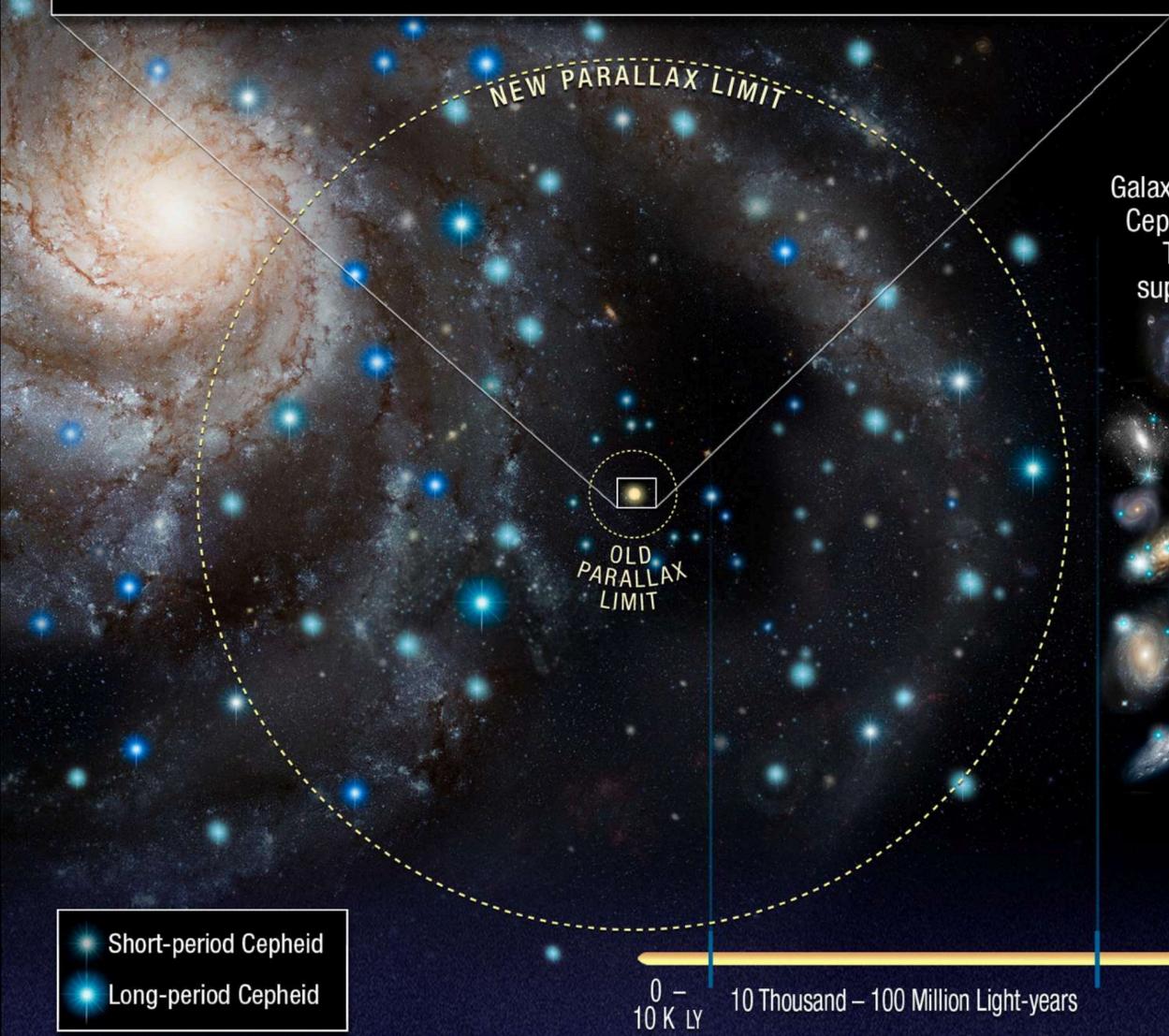
👉 $v = Hr$



Stellar Parallax Measurement of Cepheid Variable



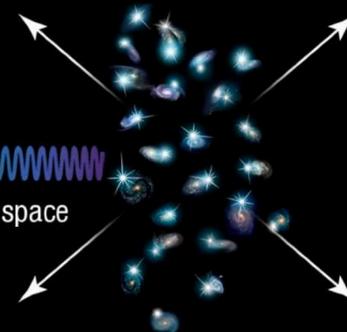
Three Steps to Measuring the Hubble Constant



Galaxies hosting Cepheids and Type Ia supernovae



Distant galaxies in the expanding universe hosting Type Ia supernovae

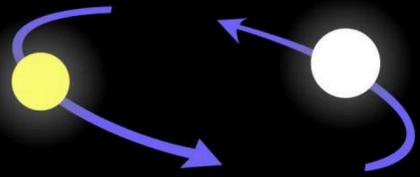


Light redshifted (stretched) by expansion of space

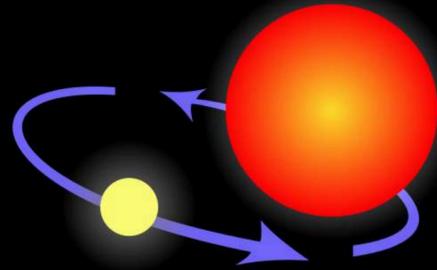


- Short-period Cepheid
- Long-period Cepheid

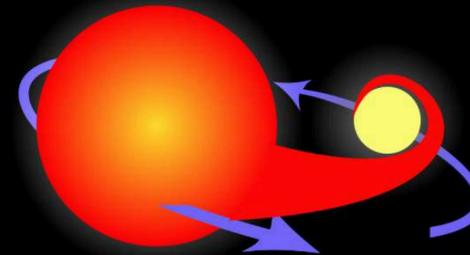
The progenitor of a Type Ia supernova



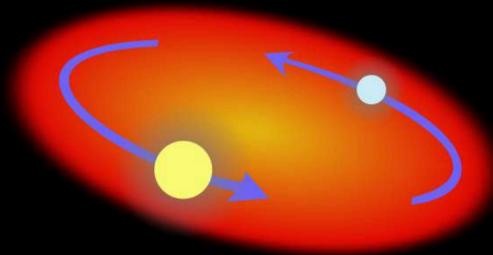
Two normal stars are in a binary pair.



The more massive star becomes a giant...



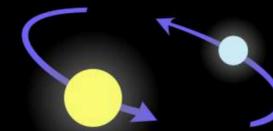
...which spills gas onto the secondary star, causing it to expand and become engulfed.



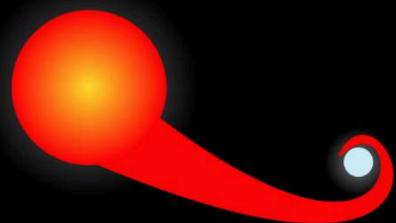
The secondary, lighter star and the core of the giant star spiral toward within a common envelope.



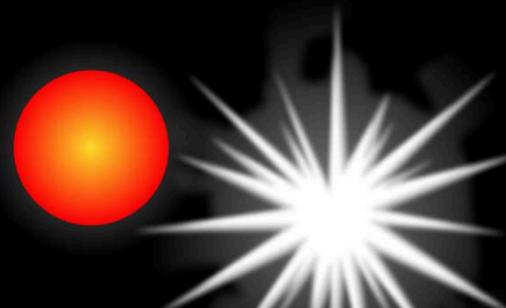
The common envelope is ejected, while the separation between the core and the secondary star decreases.



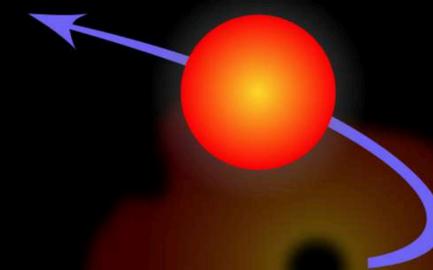
The remaining core of the giant collapses and becomes a white dwarf.



The aging companion star starts swelling, spilling gas onto the white dwarf.

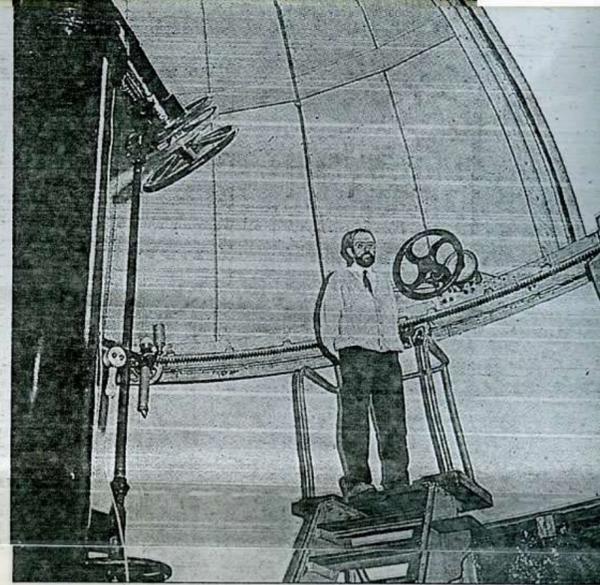


The white dwarf's mass increases until it reaches a critical mass and explodes...



...causing the companion star to be ejected away.

Chile, campeón en SUPERNOVAS



José Maza es el coordinador en Cerro Calán del proyecto para detectar supernovas.

CHILE es el país que más supernovas ha descubierto este año. Esta proeza la realizó un equipo de apenas 8 personas. Cuatro en Tololo (a cargo del astrónomo Mario Hamuy), los otros en Santiago (coordinados por José Maza¹). En todo caso, no podrían ser muchos, ya que el total de astrónomos chilenos es de tan sólo 24.

El Depto. de Astronomía de la U. de Chile ha descubierto 11 supernovas este año. Cifra abismante si se considera que el total mundial es 31. Los rivales más cercanos son EE.UU. (7), Australia (4) y Francia (4).

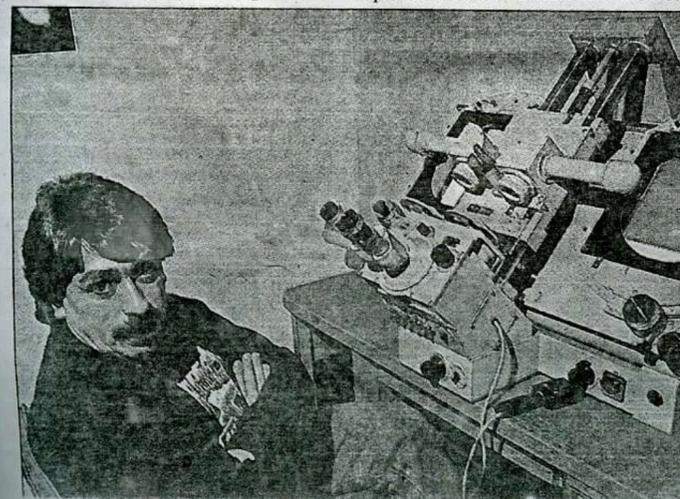
José Maza, coordinador del posgrado de Astronomía de la U., cuenta qué son:

—Es la explosión de una estrella, bajo ciertas condiciones.

A medida que el astro envejece, va perdiendo energía y enfriándose. Cuando esto ocurre, se puede producir una *implosión*—la estrella se contrae— y luego explota con enorme fuerza. Se vuelve miles de millones de veces más brillante. Entonces la llamamos «supernova». Su nueva luminosidad permite estudiar y observar astros que antes no se veían y que entregan una gran cantidad de información.

SUPERNOVAS CREADORAS...

Maza subraya que las supernovas



Luis González busca supernovas en el microscopio. Las placas cuadradas son fotos de fotografías del cielo: una antigua y otra nueva.

Los observatorios del Cerro Tololo y Cerro Calán se han asociado con éxito. En sólo 4 meses de trabajo, son los primeros en el descubrimiento de supernovas en todo el mundo.

son tan importantes, que todo lo que nos rodea existe gracias a ellas.

Hace unos 15 mil millones de años, después del Big-Bang², el universo estaba formado por nubes de 2/3 de hidrógeno y 1/3 de helio. Luego, las nubes se fueron condensando hasta formar estrellas y, algunas de ellas se transformaron en supernovas. Es durante esa explosión cuando se generan prácticamente todos los elementos químicos pesados, indispensables para la formación de los planetas y lo que hay en ellos.

Estos elementos se dispersan por el espacio, ensuciando las nubes de gas. Las nubes forman estrellas de *segunda generación* que ya contienen algunos elementos químicos pesados. Es el caso de nuestro Sol, que posee alrededor de un 2% de estos elementos.

—¿De qué sirve descubrir supernovas?

—Uno de los grandes desafíos de la astronomía es medir distancias y las supernovas son un excelente indicador. Su

tremenda luz, hacen accesibles sectores del espacio que antes nos estaban prohibidos debido a la lejanía.

«Gracias a ellas podemos determinar la velocidad de alejamiento de las galaxias: si la luz se ve 9 veces menos brillante que antes, significa que la galaxia está 3 veces más lejos, por ejemplo.

«El universo no es parejo, tiene aglomeraciones y vacíos, debido a que su expansión no fue perfectamente uniforme. Las supernovas también nos permiten descubrir estas imperfecciones.»

...Y MICROSCOPICAS

Parece un contrasentido: en Cerro Calán⁴ las supernovas las descubren... ¡con microscopio!

Cada 15 días, toman fotografías de 40 pequeñas zonas del cielo⁵ en Tololo, y las envían al cerro en Los Dominicos. En cada placa, de 20x20 cm, se registran entre 100 y 150 galaxias, cada una de las cuales comprende alrededor de ¡100 mil millones de estrellas! Nada fácil es buscar supernovas.

Marina Wischnjewsky, una de las 4 personas encargadas de esta tarea, explica:

—Cuando llegan las placas las revisamos milímetro a milímetro en el microscopio, comparándolas con una fotografía más antigua del mismo sector. Cuando

aparece alguna diferencia, la estudiamos detenidamente. Si concluimos que es una supernova, anotamos su ubicación y la enviamos a Tololo. Allí la corroboran en el cielo. Tenemos un margen de error del 25%.

A veces, estos *recordmen* chilenos cantan falsas victorias. Y una brillante supernova termina revelándose como una motita de polvo.



María Luisa Gumucio

¹ El proyecto, de 3 años, lo financió Fondecyt.

² Para ser astrónomo hay que estudiar Licenciatura en Física (4 años), un magíster en astronomía (2,5 años) y un doctorado en EU (4).

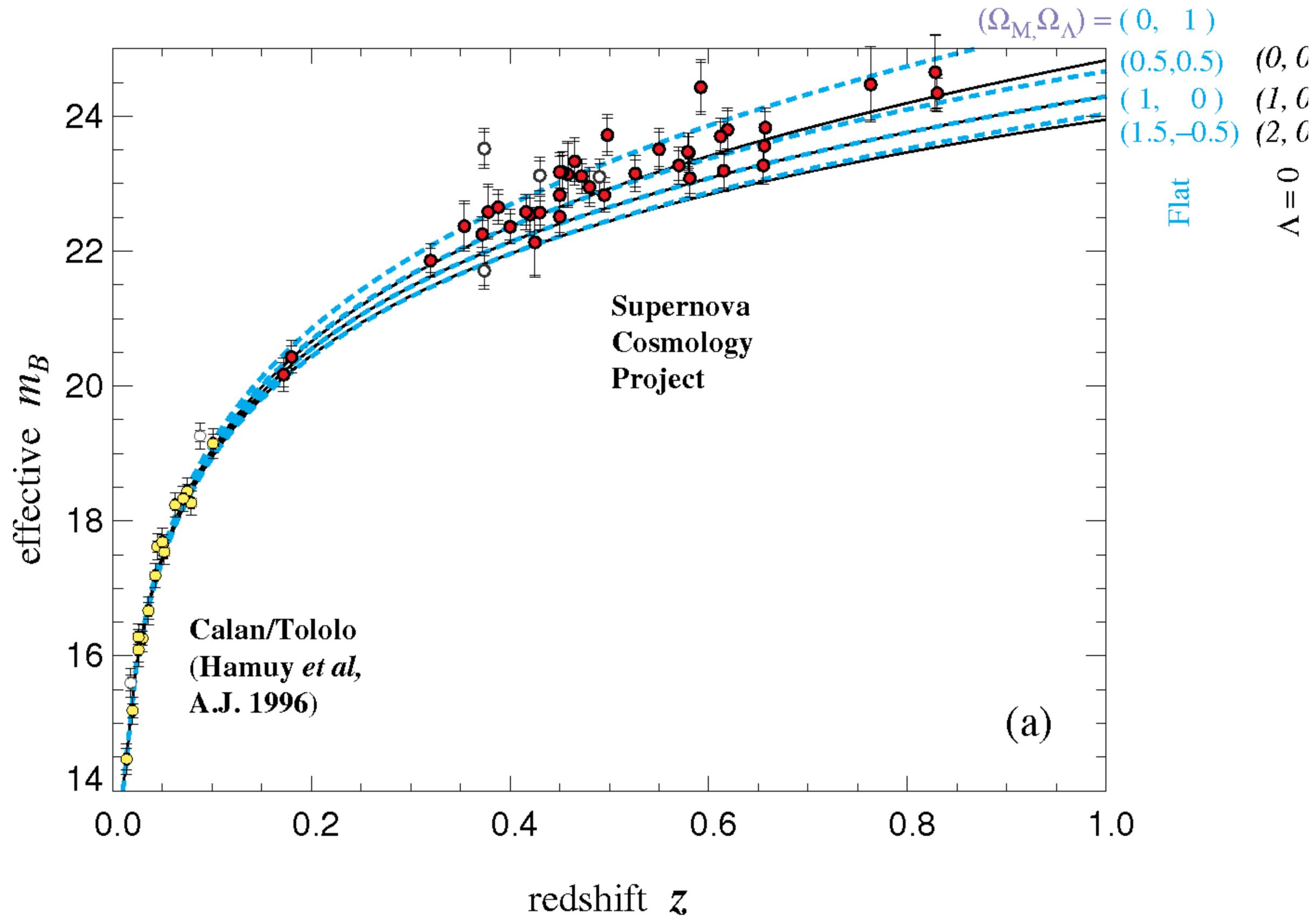
³ Siglo XXI N° 83.

⁴ Donde se ubica el Depto. de Astronomía de la U. Se realizan también investigaciones sobre cuásares y enanas blancas.

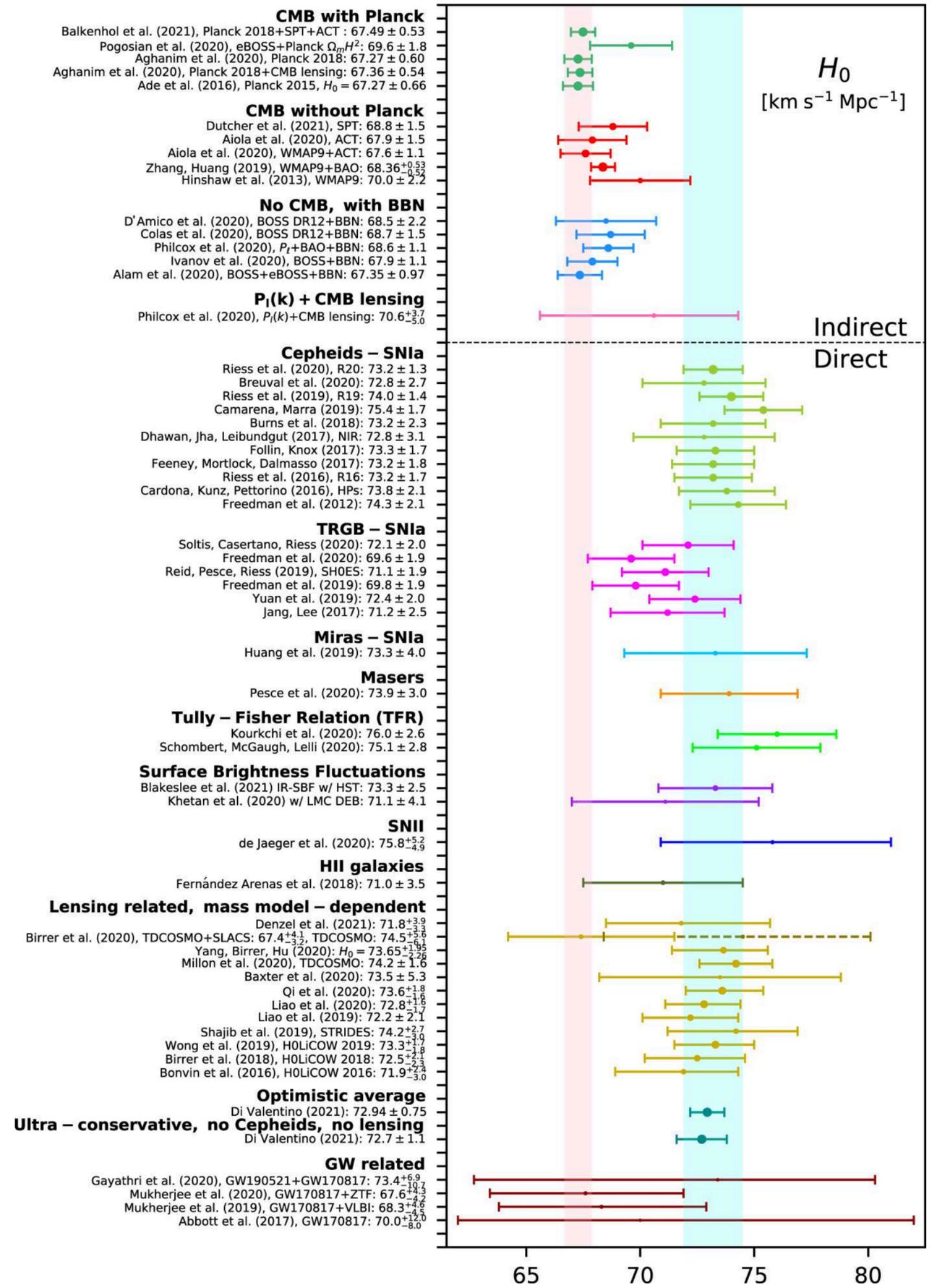
⁵ En general, no se pueden fotografiar más de 27 sectores.

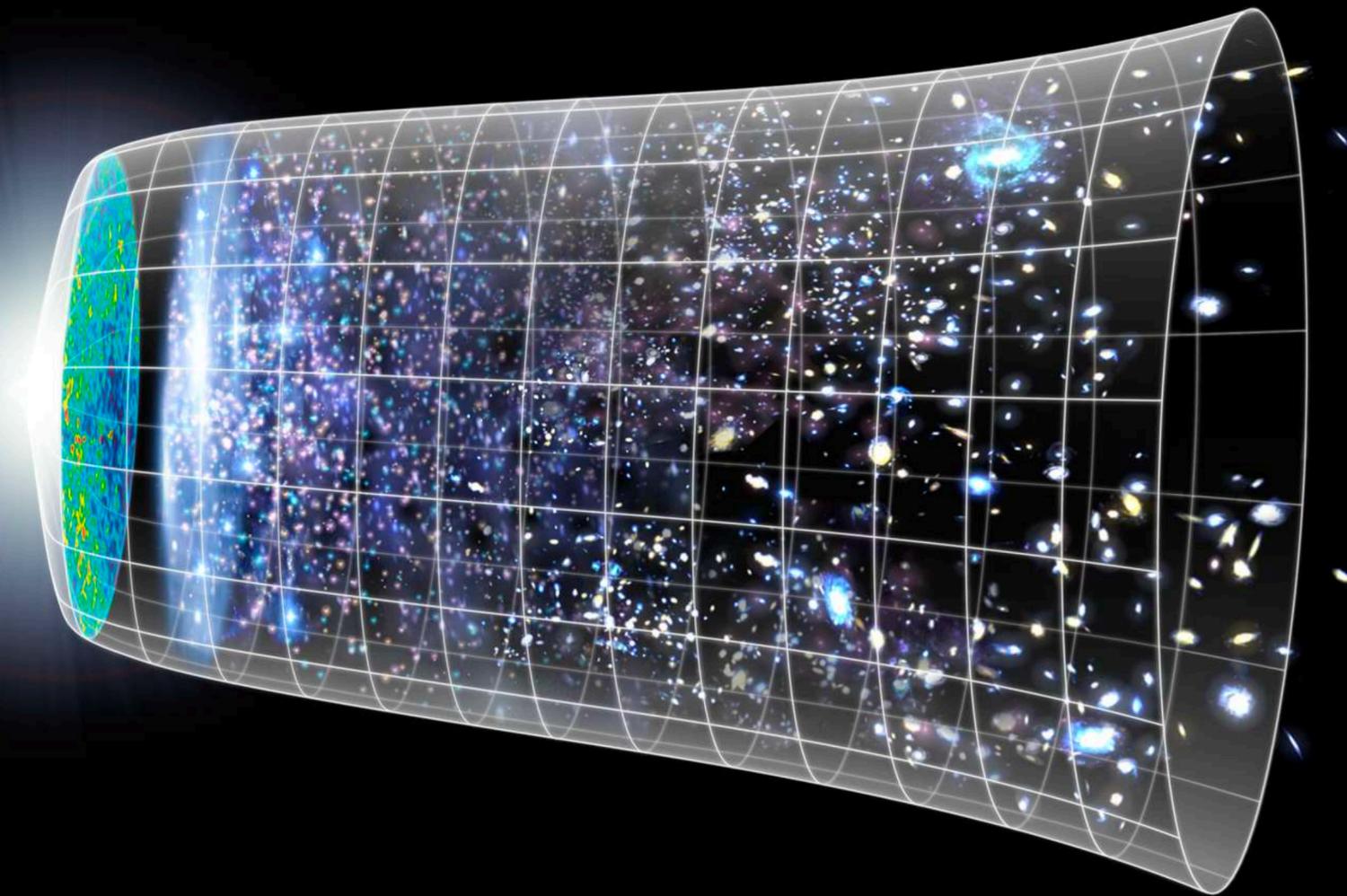
RESUMEN

Once supernovas ha descubierto Chile este año, transformándose en campeón mundial. La investigación está a cargo de un equipo conjunto de Tololo y la U. Las supernovas son estrellas que explotan y aumentan su brillantez en miles de millones de veces, entregando una valiosa información. Para descubrirlas, hay que examinar con microscopio una pequeña fotografía del cielo en la que hay más de 100 galaxias.



“Cosmic ladders” y la tensión de Hubble





“Cosmic ladders” y la tensión de Hubble

Ecuación de Friedmann: describe la expansión del Universo, y es por lo tanto una de las ecuaciones más importantes en cosmología.

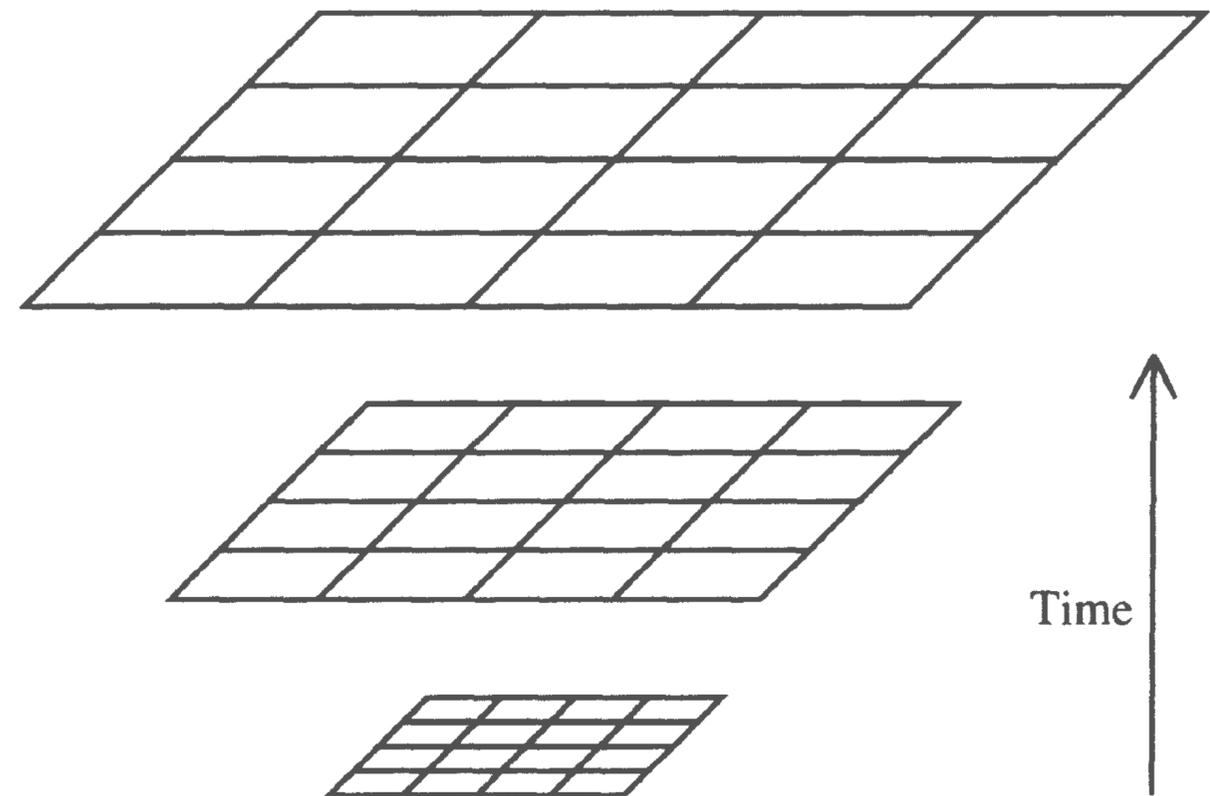
Una de las tareas rutinarias de un cosmólogo es resolver esta ecuación bajo diferentes suposiciones sobre el contenido material de el universo.

Para derivar la ecuación de Friedmann, necesitamos **calcular la fuerza gravitatoria, la energía potencial y la energía cinética de una partícula de prueba** (no importa cuál, ya que en todas partes del Universo es el mismo de acuerdo con el principio cosmológico), **y luego utilizar la conservación de la energía.**

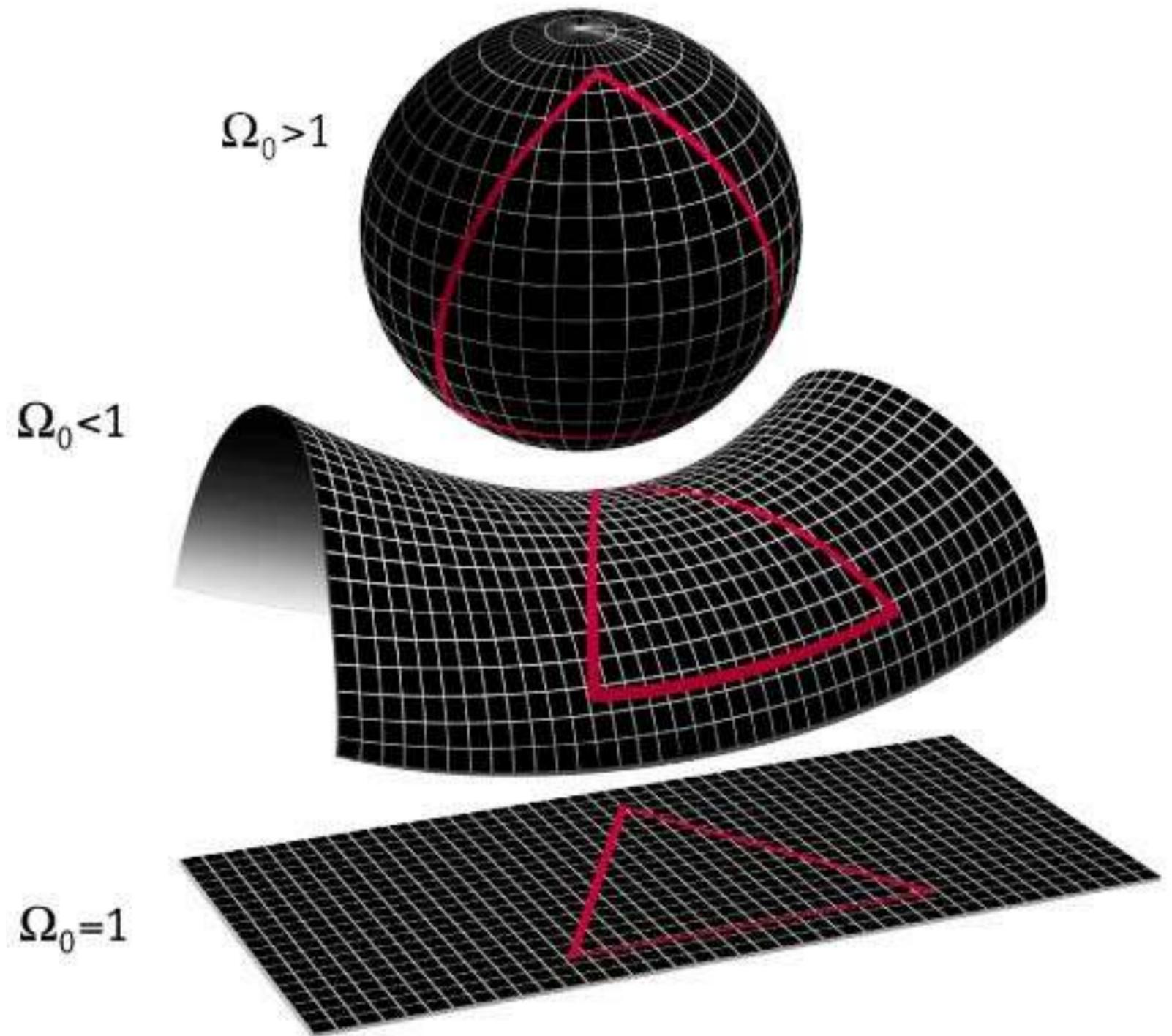
👉 $U = T + V$

También debemos trabajar en coordenadas co-móviles.

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho - \frac{kc^2}{a^2}$$



$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho - \frac{kc^2}{a^2}$$



MAP990006